

# 长江三峡地区典型灌丛的生物量及其再生能力

贺金生 王其兵

胡东<sup>(20)</sup>

(中国科学院植物研究所, 北京 100093) (首都师范大学生物系, 北京 100037)

**摘要** 灌丛是三峡地区典型的退化生态系统类型。本文采用收获法和模拟砍伐实验研究了三峡地区铁仔灌丛、木灌丛、荆条灌丛和黄栌灌丛的生物量及黄栌灌丛、木灌丛地上部分砍伐后的再生能力。研究表明,这4种类型的灌丛总生物量分别为 $22.5 \pm 5.1$ 、 $21.0 \pm 3.7$ 、 $16.9 \pm 7.5$ 和 $13.6 \pm 2.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,相当于同纬度地带性生态系统常绿阔叶林(30年林龄)的10%~25%。4种灌丛灌木层占总生物量、地上部分生物量和地下部分生物量的90%以上。在生物量-物种序列中,前5种植物占总生物量的84%以上。不同地点灌丛生物量的比较表明,同一种类型灌丛,亚热带和暖温带地区总生物量没有明显差异。通过模拟砍伐实验,黄栌灌丛、木灌丛地上部分全部砍伐后1年地上部分生物量就可以恢复到对照的42.7%和62.0%,说明这些灌丛类型具较高的生长速度和很大的恢复潜力。

**关键词** 三峡地区 退化生态系统 灌丛 生物量 砍伐

## STUDIES ON THE BIOMASS OF TYPICAL SHRUBLAND AND THEIR REGENERATION CAPACITY AFTER CUTTING

He Jinsheng and Wang Qibing

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

Hu Dong

(Department of Biology, Capital Normal University, Beijing 100027)

**Abstract** Shrubland is the typical degraded ecosystems in the Three Gorges Region. In this paper, the biomasses of 4 types of shrublands, such as *Myrsine africana*, *Loropetalum chinense*, *Vitex negundo* and *Cotinus coggygria*, and their responses to cutting were investigated with harvest method and cutting experiment. The results show that the biomass of these 4 types of shrublands were  $22.5 \pm 5.1$ ,  $21.0 \pm 3.7$ ,  $16.9 \pm 7.5$  and  $13.6 \pm 2.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , respectively, being equal to about 10%~25% of that of the typical natural evergreen broadleaved forests (30 years). The shrub layer accounted for 90% of the community in terms of the total or the underground or the aboveground biomass. In the biomass species sequence, the top 5 species amounted to over 84% of the total biomass. The shrublands of the same type were

(20) 本文于1998-05-20收稿,1996-10-03收到修改稿。Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.

国家8.5科技攻关85-16-06-02课题及院重点KS85-107项目资助。参加野外工作的还有中国科学院武汉植物所黄汉东先生,中国科学院植物所黄建辉先生审阅了初稿并提出修改意见,路鹏先生计算机输入,在此一并致谢。

similar in biomass between temperate and subtropical area. That *Cotinus coggygia* shrub and *Loropetalum chinense* shrub recovered to 42.7% and 62.0% of aboveground biomass of the control due to one year restoration after cutting, suggests their high growth rate and recovery potential.

**Key words** The Three Gorges Region, Degraded ecosystems, Shrubland, Biomass, Cutting

我国亚热带地区典型的自然生态系统为常绿阔叶林,当它们受到人为干扰后,广泛出现的是针叶林和落叶阔叶林等退化生态系统,再进一步退化,则出现各类灌丛或灌草丛(陈灵芝,1995;陈伟烈等,1994;贺金生等,1995)。由于人为干扰的存在,这类灌丛的演替比较缓慢,是相对稳定的类型。灌丛(灌草丛)是三峡地区典型的退化生态系统类型,占该地区总面积的30%(陈伟烈等,1994),它们在水土保持及在退化生态系统恢复过程中有着极其重要的作用。

对灌丛生物量的研究,无论国内外都远少于对森林生态系统生物量的研究(Whittaker, 1961; 1962; 1968; Forrest, 1971; Specht, 1979)。在中国有关灌丛的研究报告很少见到,对灌丛生物量的研究,仅有几例(姜凤歧等,1982;上官铁梁等,1989;王孟本,1989;戴晓兵,1989;金小华等,1990)。灌丛生物量虽然只有森林类型的10%~30%(Lieth and Whittaker, 1975),但作为一种类型对其生物量进行研究是进行物质循环及第一性生产力研究的基础,有重要意义。笔者对三峡地区典型灌丛的生物量进行了初步研究,现将结果整理如下。

## 1 三峡地区自然环境概况

三峡地区指长江上游包括湖北宜昌南津关至四川奉节的长江干流及两岸地区,北部包括大巴山以南至江边,南部包括长江-清江分水岭至江边地段,包括一系列的峡谷和宽谷。气候属亚热带湿润气候,年平均气温为16.5~19.0℃,1月平均气温3.4~7.2℃,7月平均气温达28~30℃,无霜期长达300~340d。该区降水丰沛,年平均降水量在1 100mm左右,4~10月降水占全年的80%,但7~8月常有伏旱。石灰岩在三峡地区广为分布,土壤以黄壤、红壤、黄棕壤、棕色石灰土、水稻土、冲积土和粗骨土为主(陈伟烈等,1994;陈国阶,1993)。

## 2 研究的目的是与方法

在对三峡地区的植被广泛调查的基础上,选择4种广泛分布、比较典型的灌丛类型,进行生物量的研究。在选定的样地上,于生长季刚结束的10月份(1992、1993和1994年)用收获法(木村允,1976)测定2个5m×5m(黄栌(*Cotinus coggygia*)灌丛)或5个2m×2m(铁仔(*Myrsine africana*)灌丛、木(*Loropetalum chinense*)灌丛、荆条(*Vitex negundo*)灌丛)样方内所有灌木、草本的生物量,同时称一定数量的样品带回实验室60℃烘干24h测样品含水量。建群种分果实、叶、侧枝、主枝、<2mm根、2~5mm根、5~10mm根、>10mm根分别进行测定,其它种类分地上部分和地下部分进行测定。

由于三峡地区的灌丛经常受到人为干扰(如砍伐),本研究也探讨了灌丛对砍伐活动的反应。具体作法是对前一年固定的样地(10m×10m)上的地上部分全部砍伐,收获后分

别测样地内所有种类地上部分生物量,生长一年后,在收获季节再次用收获法测量样地内所有种类的地上部分生物量,研究砍伐后灌丛地上部分的再生能力。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 4种典型灌丛的种类组成

根据每个类型 $400\text{m}^2$  ( $4 \times 10\text{m} \times 10\text{m}$ ) 样方的调查,铁仔灌丛、木灌丛、荆条灌丛、黄栌灌丛的种类组成列于表1。

表1 三峡地区4种典型灌丛样地种类组成

Table 1 Species composition of 4 typical shrubs in the Three Gorges Region

物 种 Species	铁仔灌丛 <i>Myrsine shrub</i>		木灌丛 <i>Loropetalum shrub</i>		荆条灌丛 <i>Vitex shrub</i>		黄栌灌丛 <i>Cotinus shrub</i>	
	高度 Height (m)	盖度 Coverage (%)	高度 Height (m)	盖度 Coverage (%)	高度 Height (m)	盖度 Coverage (%)	高度 Height (m)	盖度 Coverage (%)
勾儿茶 <i>Berchemia sinica</i>					1	0.5		
小叶朴 <i>Celtis bungeana</i>	1.2	0.1						
木防己 <i>Cocculus orbiculatus</i>			0.7	0.1				
马桑 <i>Coriaria nepalensis</i>					1.2	0.5		
黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	1.5	0.1					1.1	68
柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	1.0	2.0						
算盘子 <i>Glochidion puberum</i>			0.8	0.5				
老虎刺 <i>Ilex pernyi</i>					0.4	0.1		
马棘 <i>Indigofera pseudotinctoria</i>	0.6	0.1			1.4	3	0.7	3
迎春 <i>Jasminum nudiflorum</i>	0.6	2.0					0.3	2
大叶胡枝子 <i>Lespedeza davidii</i>							1	0.5
美丽胡枝子 <i>L. formosa</i>			0.4	0.3				
短梗胡枝子 <i>L. virgata</i>	0.5	0.1						
小蜡树 <i>Ligustrum sinense</i>	1.1	2.0						
小叶女贞 <i>L. quihoui</i>				0.6	0.1			
小香叶树 <i>Lindera fragrans</i>				0.3	0.1			
木 <i>Loropetalum chinense</i>	0.7	6.0	1.0	65	0.9	0.1		
铁仔 <i>Myrsine africana</i>	0.9	75	0.7	2	3	0.5	0.7	0.3
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>					1.3	2.5	1.3	0.5
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	1.5	0.3			0.6	4		
异叶鼠李 <i>Rhamnus heterophylla</i>					0.4	1		
小冻绿树 <i>Rhamnus rosthornii</i>	1.0	1.0						
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	0.6	1.0	0.4	0.3	0.4	0.5		
小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	2.5	2	0.6	0.3	2	1.5		
金樱子 <i>R. laevigata</i>	0.8	0.5	2	1.0				
雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>	1.4	3.0						
烟管菜 <i>Viburnum utile</i>	1.2	1.0					0.8	0.1
荆条(牡荆) <i>Vitex negundo</i>	1.0	0.8			1.5	58		
龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i>					0.2	0.1		
白苞蒿 <i>Artemisia lactiflora</i>								
萹草 <i>Arthraxon hispidus</i>	0.5	0.1	0.6	2	0.7	5	0.2	0.5

(续表1)

物种 Species	铁仔灌丛		木灌丛		荆条灌丛		黄栌灌丛	
	<i>Myrsine shrub</i>		<i>Loropetalum shrub</i>		<i>Vitex shrub</i>		<i>Cotinus shrub</i>	
	高度	盖度	高度	盖度	高度	盖度	高度	盖度
	Height (m)	Coverage (%)	Height (m)	Coverage (%)	Height (m)	Coverage (%)	Height (m)	Coverage (%)
白茅草 <i>Bothriochloa ischaemum</i>					0.3	1		
北柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>					0.3	2		
披针叶苔草 <i>Carex lanceolata</i>	0.7	0.2					0.7	2.5
垂穗苔草 <i>C. sp dimorpholepis</i>					0.3	0.2		
铁线莲 <i>Clematis chinensis</i>								0.1
徐长卿 <i>Cynanchum paniculatum</i>							0.4	0.1
假俭草 <i>Eremochloa opiuroides</i>					0.7	0.5		
日本羊茅 <i>Festuca japonica</i>	0.3	0.1			0.6	0.3		
紫菀 <i>Heteropappus altaicus</i>	0.7	0.1			1.4	20		
扭黄茅 <i>Heteropogon contortus</i>	0.5	1	0.6	3			0.6	10
白茅 <i>Imperata cylindrica</i> var. <i>major</i>	0.8	8.0			0.5	1	0.3	1
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>			0.6	5				
雀稗 <i>Paspalum thunbergii</i>					0.7	0.3		
瓜子金 <i>Polygala japonica</i>			0.1	0.1			0.1	0.1
委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	0.1	0.1			0.2	0.1		
翻白草 <i>P. discolor</i>	0.2	0.1			0.2	0.2		
蔓生卷柏 <i>Selaginella davidii</i>			0.2	0.5				
小叶菝葜 <i>Smilax microphylla</i>					1	0.1		
麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	0.2	5.0			0.2	0.2		

从表中可以看出,在这4种类型的灌丛中,荆条灌丛种类组成最丰富,有29种(其中灌木种类14种),其次是铁仔灌丛,共28个种(其中灌木种类有17种)。黄栌灌丛有15种(其中灌木种类7种),组成最简单的为木灌丛,共13个物种(其中灌木种类8种)。4种类型的灌丛总盖度均在60%~85%,都分布在海拔400m以下的丘陵地区。

### 3.2 4种类型灌丛群落的生物量

表2、3、4、5为这4种灌丛组成种类的生物量分配。这4种灌丛总生物量平均值从大到小的顺序为铁仔灌丛>木灌丛>荆条灌丛>黄栌灌丛。

尽管 Whittaker(1966)曾指出“在研究生物量与环境之间的关系时,不稳定的群落是不能与稳定的群落相比较的;除非非常小心地有选择地比较。不稳定群落不能可靠指示环境对生物量的影响”,但是通过比较我们可以确定灌丛这种类型的退化程度。根据已有资料(戴晓兵,1989;金小华等,1990;Connolly-McCarthy and Grigal,1885;Dai et al.,1985;Aerts,1989),灌丛这一类型,地上部分生物量、总生物量之间的差异是很大的。地上部分生物量变化范围在 $0.5 \sim 10.4 \text{ t hm}^{-2}$ ,总生物量的变化范围在 $13.6 \sim 22.5 \text{ t hm}^{-2}$ ,明显低于针叶林及同纬度的地带性生态系统常绿阔叶林(冯宗炜等,1982;陈启常等,1994),约相当于林龄30年常绿阔叶林的10%~25%。即是同一种类型灌丛,在亚热带和暖温带地区,在总生物量方面,没有表现出明显差异。如北京怀柔的荆条灌丛,总生物量为 $16.4 \text{ t hm}^{-2}$ (戴晓兵,1989)、北京门头沟的荆条灌丛为 $20.3 \text{ t hm}^{-2}$ ,三峡地区荆条灌丛总生物量则为 $16.9 \text{ t hm}^{-2}$ 。

表2 木灌丛生物量种类的分配(拉丁名见表1)

Table 2 Biomass components of *Loropetalum chinense* shrub(Species name were the same as in Table 1)

种名 Species	地上部分生物量 Aboveground (kg hm <sup>-2</sup> )	地下部分生物量 Underground (kg hm <sup>-2</sup> )	总生物量 Total (kg hm <sup>-2</sup> )
灌木层 Shrub layer			
算盘子	89.2	768.9	858.2
木	3367.2	13801.4	17168.6
铁仔	485.9	602.9	1088.8
盐肤木	83.1	280.8	363.8
金樱子	342.4	369.1	711.5
其它3种植物 <sup>1)</sup>	14.4	288.4	302.8
灌木层合计 Total of shrub layer	4470.0	16110.0	20490.0
草本层 Herb layer			
萹草	16.5	60.3	76.8
扭黄茅	15.5	29.4	44.9
芒	143.5	267.7	411.2
其它2种植物 <sup>2)</sup>	1.9	3.39	5.29
草本层合计 Total of herb layer	180.0	360.0	540.0
总计 Total of comm.	4650.0	16470.0	21030.0

1) 指木防己、美丽胡枝子、小果蔷薇 2) 指瓜子金、蔓生卷柏

表3 铁仔灌丛生物量的种类分配(拉丁名见表1)

Table 3 Biomass components of *Myrsine africana* shrub(Species name were the same as in Table 1)

种名 Species	地上部分生物量 Aboveground (kg hm <sup>-2</sup> )	地下部分生物量 Underground (kg hm <sup>-2</sup> )	总生物量 Total (kg hm <sup>-2</sup> )
灌木层 Shrub layer			
木	697.8	1928.4	2626.2
铁仔	5885.9	7464.9	13350.8
金樱子	235.4	1250.7	1486.1
雀梅藤	521.1	498.6	1019.7
烟管莢	264.7	198.8	463.5
其它12种植物 <sup>1)</sup>	1245.1	1288.6	2533.7
灌木层合计 Total of shrub layer	8850.0	12630.0	21480.0
草本层 Herb layer			
萹草	65.0	148.5	213.5
披针叶苔草	107.0	154.0	261.0
扭黄茅	148.9	94.8	243.7
其它8种植物 <sup>2)</sup>	129.1	212.7	341.8
草本层合计 Total of herb layer	450.0	610.0	1060.0
总计 Total of comm.	9300.0	13240.0	22540.0

1) 指小叶朴、黄栌、柘树、马棘、迎春、短梗胡枝子、小蜡树、火棘、小冻绿树、盐肤木、小果蔷薇、荆条 2) 指白羊草、铁线莲、日本羊茅、紫菀、白茅、委陵菜、翻白草、麦冬

表4 荆条灌丛生物量的种类分配(拉丁名见表1)

Table 4 Biomass components of *Vitex negundo* shrub(Species name were the same as in Table 1)

种名 Species	地上部分生物量 Aboveground (kg hm <sup>-2</sup> )	地下部分生物量 Underground (kg hm <sup>-2</sup> )	总生物量 Total (kg hm <sup>-2</sup> )
灌木层 Shrub layer			
马棘	1029.0	975.8	2004.8
铁仔	1012.5	907.2	1919.6
火棘	122.3	498.8	621.1
异叶鼠李	353.9	444.2	798.1
盐肤木	411.9	5389.5	9501.4
其它9种植物 <sup>1)</sup>	3960.4	434.5	4394.9
灌木层合计 Total of shrub layer	6890.0	8650.0	15510.0
草本层 Herb layer			
假俭草	149.2	154.2	303.5
日本羊茅	172.7	210.6	383.3
麦冬	181.2	151.8	332.9
其它12种植物 <sup>2)</sup>	126.9	213.4	340.3
草本层合计 Total of herb layer	630.0	730.0	1390.0
总计 Total of comm.	7520.0	9380.0	16900.0

1) 指勾儿茶、马桑、老虎刺、小叶女贞、小香叶树、木、黄莲木、小果蔷薇、荆条 2) 指龙牙草、荩草、白羊草、北柴胡、披针叶苔草、垂穗苔草、紫菀、白茅、雀稗、委陵菜、翻白草、小叶菝葜

表5 黄栌灌丛生物量的种类分配(拉丁名见表1)

Table 5 Biomass components of *Cotinus coggygia* shrub(Species name were the same as in Table 1)

种名 Species	地上部分生物量 Aboveground (kg hm <sup>-2</sup> )	地下部分生物量 Underground (kg hm <sup>-2</sup> )	总生物量 Total (kg hm <sup>-2</sup> )
灌木层 Shrub layer			
黄栌	3522.4	8640.6	12163.0
迎春	7.5	27.2	61.4
大叶胡枝子	34.2	4.1	6.6
铁仔	2.4	281.2	543.2
黄连木	262.1	84.6	154.6
其它2种植物 <sup>1)</sup>	4.4	3.7	8.1
灌木层合计 Total of shrub layer	3890.0	9040.0	12660.0
草本层 Herb layer			
披针叶苔草	102.0	39.9	141.9
扭黄茅	172.1	203.3	375.4
白茅	24.6	61.8	86.4
其它5种植物 <sup>2)</sup>	21.3	25.0	46.3
草本层合计 Total of herb layer	320.0	330.0	920.0
总计 Total of comm.	4210.0	9370.0	13580.0

1) 指马棘、烟管荚 2) 指白苞蒿、荩草、瓜子金、铁线莲、徐长卿

### 3.3 总生物量的层次分配

灌丛群落按层次可划分为2层,即灌木层和草本层。从本研究看,木灌丛灌木层占总生物量、地上部分生物量、地下部分生物量分别为97.44%、96.11%和97.79%,铁仔灌丛灌木层分别占95.28%、95.15%和95.39%,荆条灌丛灌木层分别占91.80%、91.25%和92.20%,黄栌灌丛灌木层分别占总生物量、地上部分生物量和地下部分生物量的90%以上。

### 3.4 总生物量的种类分配

在总生物量顺序中前5种植物占木灌丛总生物量的96.23%,占铁仔灌丛84.05%,占荆条灌丛总生物量的87.80%,占黄栌灌丛总生物量的98.47%。由图1可以看出在种-生物量序列图中各物种的生物量分配情况。在这4种灌丛类型中,种-生物量序列中前5种植物占总生物量的84%以上。

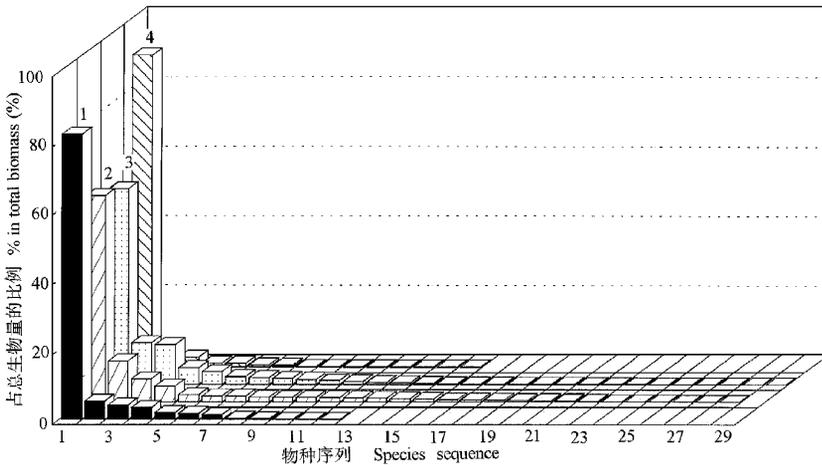


图1 4种灌丛的物种-生物量序列图

Fig.1 The species-biomass sequence of 4 shrubland

- 1. 木灌丛 *Loropetalum chinense* shrub
- 2. 铁仔灌丛 *Myrsine africana* shrub
- 3. 荆条灌丛 *Vitex negundo* shrub
- 4. 黄栌灌丛 *Cotinus coggygria* shrub

### 3.5 主要建群种生物量的器官分配

由图2可以看出4种灌丛建群种生物量按器官的分配情况。黄栌、木、荆条、铁仔地下部分生物量分别占总生物量的68.2%、78.9%、62.5%和54.7%,其中黄栌生物量的39.3%,荆条生物量的30%集中在根球。在地上部分生物量中,黄栌主枝和侧枝占比例较大(24.1%),铁仔叶子的生物量超过了主枝和侧枝的总和,表现为叶>主枝>侧枝;荆条地上部分生物量表现为主枝>叶>侧枝;木地上部分生物量也表现为主枝>叶>侧枝。

### 3.6 黄栌灌丛、木灌丛砍伐后的再生能力

表6为这2种类型灌丛从砍伐后恢复1年及对对照的地上部分生物量的比较,可以看出,砍伐后从种类组成上看木灌丛由原来的15种变为16种,黄栌灌丛由原来的11种变为10种。尽管从总种数看变化不大,但种类组成发生了很大变化,有些种类消失了,有些种类又重

新出现,如 木灌丛砍伐后老虎刺、黄檀就消失了,而又出现了荆条和黄栌。砍伐后经1年的恢复,黄栌灌丛地上部分总生物量恢复到对照的42.7%, 木灌丛恢复到对照的62.0%。

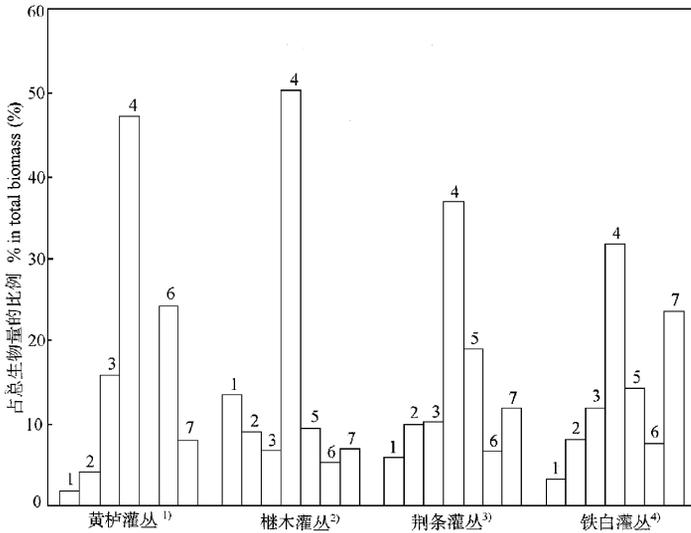


图2 四种灌丛建群种生物量按器官的分配

Fig. 2 The dominant species biomass allocation of 4 typical shrubland

1. 根 Root, <2mm 2. 根 Root, 2~5mm 3. 根 Root, 5~10mm 4. 根 Root, >10mm

5. 主枝 Branches 6. 侧枝 Twigs 7. 叶 Leaves

1) *Cotinus coggygria* shrub 2) *Loropetalum chinense* shrub 3) *Vitex negundo* shrub 4) *Myrsine africana* shrub

表6 黄栌灌丛、木灌丛砍伐1年后地上部分生物量的变化(生物量以  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  计)

Table 6 The aboveground biomass comparison between control and treatment of *Cotinus coggygria* shrub and *Loropetalum chinense* shrub after one year's cutting restoration in cutting experiment (Biomass:  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

	黄栌灌丛 <i>Cotinus coggygria</i> shrub				木灌丛 <i>Loropetalum chinense</i> shrub			
	对照	Control	处理	Treatment	对照	Control	处理	Treatment
灌木层 Shrub layer								
种类 Species		7		7		12		13
生物量 Biomass		4647.0		2009.1		3825.8		2357.7
草本层 Herb layer								
种类 Species		4		3		3		3
生物量 Biomass		130.6		33.2		400.8		263.8
地上部分总生物量 Total aboveground biomass		4777.6		2042.3		4226.6		2621.5

灌丛作为退化生态系统的一种类型,是人为影响的产物(陈灵芝,1995;贺金生等,1995;Dai *et al.*,1990),这表现在灌丛群落生物量受人为干扰影响很大(Whittaker,1966),从本研究可以看出,通过模拟砍伐实验,黄栌灌丛地上部分生物量1年就可以恢复到对照的42.7%,达到 $2.78\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;木灌丛1年可以恢复到对照的62.0%,达 $2.62\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。通过不同类型群落的年净第一性生产量比较,可发现荆条灌丛的地上部分生产量可超过一些成熟的林地的乔木种类的生产量(戴晓兵,1989;Dai *et al.*,1990),说明灌丛类型有较高的生长速度和很大的发展潜力。

## 参 考 文 献

- 上官铁梁、张峰,1989:云顶山虎榛子灌丛群落学特性及生物量,山西大学学报(自然科学版),**12**(3):361~364。
- 冯宗炜、陈楚莹、张家武等,1982:湖南省会同县两个森林群落的生物生产力,植物生态学与地植物学丛刊,**6**(4):258~267。
- 陈启、沈琪、葛滢等(姜恕,陈昌笃主编),1994:浙江建德青冈次生常绿林群落生产力的初步研究,植物生态学研究,科学出版社,北京,262~272。
- 陈灵芝(主编),1995:中国退化生态系统类型,中国退化生态系统研究(第3章),中国科学技术出版社,北京。
- 陈灵芝,陈清朗,鲍显诚等,1986:北京山区侧柏林及其生物量研究,植物生态学与地植物学学报,**10**(1):17~25。
- 陈伟烈、张喜群、梁松筠等,1994:三峡库区的植物与复合农业生态系统,科学出版社,北京。
- 陈国阶(主编),1993:三峡工程对生态与环境的影响研究,科学出版社,北京。
- 金小华、刘宏刚、宋永昌,1990:安徽黟县次生灌丛和灌草从生产力的研究,植物生态学与地植物学学报,**14**(3):267~273。
- 姜凤歧、卢风勇,1982:小叶锦鸡儿灌丛地上生物量的预测模型,生态学报,**2**(2):103~110。
- 贺金生、陈伟烈(陈灵芝主编),1995:我国亚热带地区的退化生态系统:类型、分布、结构特征及恢复途径,中国退化生态系统研究(第4章),中国科学技术出版社,北京。
- 戴晓兵,1989:怀柔山区荆条灌丛生物量的季节动态,植物学报,**31**(4):307~315。
- 木村允,1976(姜恕等译,1981):陆地植物群落的生产量测定方法,科学出版社,北京。
- Aerts, R., 1989: Aboveground biomass and nutrient dynamics of *Calluna Vulgaris* and *Molinia caerulea* in a dry heathland, *Oikos*, **56**:31~38.
- Canell, M. G. R., 1982: *World forest biomass and primary productivity data*, Academic Press, London, New York.
- Connolly-McCarthy, B. J. and Grigal, D. F., 1985: Biomass of shrub-dominated wetlands in Minnesota, *Forest Science*, **31**(4):1011~1017.
- Dai, Xiaobing, Lingzhi Chen and Jianhui Huang, 1990: The restoration of the destroyed forest vegetation in Yunmeng Mountain, Beijing, *Vegetatio*, **87**(2):145~150.
- Forrest, G. I., 1971: Structure and production of North Pennire blandet bog vegetation, *J. Ecology*, **59**:453~479.
- Lieth, H. and R. H. Whittaker, 1975: *Primary productivity of the biosphere*. Springer-Verlag, Berlin, Heideberg, New York.
- Specht, R. L. (ed.), 1979: *Heathlands and related shrublands*. (Ecosystems of the World: 9A, 9B). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York.
- Whittaker, R. H., 1961: Estimation of net primary production of forest and shrub communities, *Ecology*, **42**:177~180.
- Whittaker, R. H., 1962: Net production relations of shrubs in the Great Smoky Mountains, *Ecology*, **43**:357~377.
- Whittaker, R. H., 1966: Forest dimensions and production in the Great Smoky Mountains, *Ecology*, **47**:103~121.
- Whittaker, R. H. and W. A. Niering, 1975: Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. (V) Biomass, Production, and diversity along the elevation gradient. *Ecology*, **56**:478~485.
- Whittaker, R. H. and G. M. Woodwell, 1968: Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York, *J. Ecology*, **56**:1~25.